

王娟, 孙瑞琳, 刘欣, 等. 藜麦黑枸杞酸奶的工艺优化及其抗氧化活性研究 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(12): 240-245. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022010075

WANG Juan, SUN Ruilin, LIU Xin, et al. Study on the Process Optimization of Quinoa Black Medlar Yogurt and Its Antioxidant Activity[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(12): 240-245. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022010075

· 工艺技术 ·

藜麦黑枸杞酸奶的工艺优化及其 抗氧化活性研究

王娟, 孙瑞琳, 刘欣, 谢克英, 钱志伟*

(河南农业职业学院食品工程学院, 河南郑州 451450)

摘要:以藜麦和黑枸杞作为复合添加物, 以黏附力和感官评分为评价指标, 考察藜麦浆、黑枸杞粉、木糖醇及乳酸菌添加量对藜麦黑枸杞无糖酸奶品质的影响。通过单因素和正交试验对酸奶工艺进行优化, 并对产品的理化及微生物指标、乳酸菌数及抗氧化性进行研究。结果表明, 藜麦黑枸杞无糖酸奶最优参数为: 藜麦浆 25%, 黑枸杞粉 1.0%, 木糖醇 8%, 乳酸菌添加量 1.0%。在此工艺条件下制作的酸奶, 具有发酵酸乳和藜麦黑枸杞复合香味, 感官评分达到 93.2 分, 黏附力为 -2.35 N, 各项理化和微生物指标符合发酵乳食品安全国家标准。藜麦黑枸杞酸奶对 DPPH 自由基和羟自由基的 IC_{50} 值分别为 6.1 和 8.9 mg/mL, 清除能力均高于对照组酸奶 (35.9 和 40.5 mg/mL), 且在贮藏过程中自由基清除能力均表现出不同程度的升高。

关键词: 藜麦, 黑枸杞, 酸奶, 感官评价, 黏附力, 抗氧化性

中图分类号: TS201.1

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2022)12-0240-06

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022010075



本文网刊:

Study on the Process Optimization of Quinoa Black Medlar Yogurt and Its Antioxidant Activity

WANG Juan, SUN Ruilin, LIU Xin, XIE Keying, QIAN Zhiwei*

(Department of Food Engineering, Henan Vocational College of Agricultural, Zhengzhou 451450, China)

Abstract: Using quinoa and black medlar as compound additives, the adhesion and sensory scores were used as indicators to investigate the effects of quinoa slurry, black medlar powder, xylitol and lactic acid bacteria inoculation on quinoa black medlar sugar free yogurt. For the influence of quality, orthogonal experiment was carried out on the basis of single factor experiments to optimize the yogurt craft formula, and conduct research on physiochemical indexes, microbiological indexes, lactic acid bacteria counts and antioxidant activities. Results showed that the optimal processing parameters were as follows: Guinoa slurry 25%, black medlar powder 1.0%, xylitol 8%, lactic acid bacteria inoculation 1.0%. The yogurt made under this process had rich aroma of quinoa and black medlar, a sensory score of 93.2 and an adhesion of -2.35 N. At the same time, the physiochemical and microbiological indexes, lactic acid bacteria counts met the corresponding national food safety standard for yogurt. The IC_{50} of DPPH and hydroxyl radicals in quinoa black medlar yogurt were 6.1 and 8.9 mg/mL, respectively, and the scavenging abilities were higher than those of the control group (35.9 and 40.5 mg/mL). The scavenging ability of DPPH and hydroxyl radical increased in different degrees during storage.

Key words: quinoa; black medlar; yogurt; sensory evaluation; adhesion; antioxidant activity

收稿日期: 2022-01-11

基金项目: 中原英才计划—中原教学名师支持项目(豫组通[2020]48号);河南省高等学校重点科研项目(22B210005);河南农业职业学院功能性食品活性因子综合研究科研创新团队资助项目(HNACKT-2019-02)。

作者简介: 王娟(1985-),女,硕士,讲师,研究方向:食品加工及质量控制,E-mail: minjuan2728@163.com。

*通信作者: 钱志伟(1969-),男,硕士,教授,研究方向:食品加工及质量控制,E-mail: qianzhiwei@hnca.edu.cn。

藜麦(*Chenopodium quinoa* Willd.)为藜科草本植物,环境耐受性好,含有丰富的碳水化合物、蛋白质、脂肪、矿物质、维生素及膳食纤维,能满足人类所有的营养需求^[1-3]。藜麦除了营养价值较高外,还含有多酚、生物碱及皂苷等功能性成分,具有抗氧化、抑制心血管疾病、抗肿瘤、抑菌等生物活性^[4-6]。黑枸杞(*Lycium ruthenicum* Murr.)是枸杞属多年生灌木,主要分布在我国西部及西北部干旱地区,成熟后的黑枸杞为紫黑色浆果,氨基酸、多糖、维生素、矿物质及原花青素等含量丰富,其中原花青素含量在自然界植物中位于前列,具有强大的自由基清除能力^[7-8]。长期食用黑枸杞能增强免疫力、抗疲劳、抗衰老、抗过敏等,具有良好的保健功效及药用价值^[9-11]。木糖醇作为一种天然的甜味剂,具有甜度高、热量低等特点,是适合糖尿病患者的最佳甜味剂之一,不仅不增加食用者的血糖值,还能预防龋齿、改善肝功能、促进乳酸菌和双歧杆菌增殖及调节胃肠功能等^[12]。酸奶作为乳酸菌型发酵乳制品,具有营养丰富,容易消化吸收及增加肠道有益菌群等作用。但原味酸奶具有口感和风味单一、含糖量高及保健功能少等特点,因此添加了谷物、果蔬及代糖等制作的低热量、低糖、高膳食纤维、较多益生功能的酸奶必将成为市场的主流。

随着我国藜麦和黑枸杞种植面积的扩大以及人民对营养健康的需求,越来越多的研究将藜麦和黑枸杞添加到食品中以改善食品营养和保健功效^[13-16],但将二者添加到牛乳中进行混合发酵并对成品酸奶的品质和抗氧化性进行研究尚未见报道。本研究在原味酸奶的基础上,用木糖醇代替白砂糖,向生牛乳中添加藜麦和黑枸杞进行复合发酵,并对酸奶的微生物指标、理化指标、乳酸菌数及抗氧化性进行研究,旨在有效利用酸奶中藜麦和黑枸杞的各种活性成分,丰富酸奶的种类,并为保健型酸奶产品的开发提供理论依据和参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

纯牛奶 内蒙古伊利无菌枕;青海白藜麦 山西稼祺农业科技有限公司;黑枸杞 宁夏杞里香食品旗舰店;木糖醇 浙江华康药业股份有限公司;YO-MIX883(嗜热链球菌和保加利亚乳杆菌) 丹尼斯克(法国)有限公司;煌绿乳糖胆盐(BGLB)肉汤、结晶紫中性红胆盐琼脂(VRBA)、MC培养基、MRS培养基 北京陆桥技术股份有限公司;1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH) 美国 Sigma 公司;无水乙醇、维生素 C、过氧化氢、水杨酸、硫酸亚铁 分析纯,天津富晨化学试剂有限公司。

FA1604 电子分析天平 上海光学仪器一厂;AE300L-P 剪切乳化机 上海棱谱仪器仪表有限公司;206A 破壁机 美的股份有限公司;TMS-PRO 质

构仪 美国 FTC 公司;SPX-250B-Z II 生化培养箱、BJ-2CD 超净工作台 上海博迅医疗生物仪器股份有限公司;TU-1810 紫外可见分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司。

1.2 实验方法

1.2.1 藜麦黑枸杞酸奶工艺流程



1.2.2 操作要点 将黑枸杞干果用研磨机研磨成粉状,然后过 120 目筛,得到黑枸杞全果粉。选择白藜麦为本实验原料,按照料水比 1:5(g/mL)的比例加纯净水,在 25 ℃ 条件下浸泡 2 h,蒸 15 min 熟化。冷却后,按照料水比 1:4(g/mL)磨浆,过 100 目筛后煮沸。

将一定量的藜麦浆、黑枸杞粉和木糖醇加入到纯牛奶中,搅拌均匀,于 16~18 MPa 压力下均质,改善发酵乳的质地和口感。为减少黑枸杞营养物质的损失,采用 85 ℃、维持 20 min 的杀菌条件。杀菌后的混合乳迅速冷却至 42 ℃。按设定好的比例将 YO-MIX883 直投式发酵剂接入冷却好的混合乳中,搅拌均匀后分装并于 42 ℃ 条件下^[17]发酵 7 h,结束后迅速冷却至 4 ℃ 并保持 12 h,制得藜麦黑枸杞酸奶。

1.2.3 单因素实验 根据预实验结果,保持酸奶发酵温度 42 ℃ 及发酵时间 7 h 不变,分别考察藜麦浆添加量、黑枸杞粉添加量、木糖醇添加量、乳酸菌接种量对藜麦黑枸杞酸奶感官评分和黏附力的影响。各因素的添加量以原料乳、藜麦浆及黑枸杞粉总重量 100% 计。

1.2.3.1 藜麦浆添加量对酸奶品质的影响 在黑枸杞粉添加量 1.0%,木糖醇添加量 8% 及菌种添加量 1.5% 条件下,设置藜麦浆添加量为 5%、10%、15%、20%、25% 进行发酵,对成品酸奶进行感官评定和黏附力的测定。

1.2.3.2 黑枸杞粉添加量对酸奶品质的影响 在藜麦浆添加量 15%,木糖醇添加量 8% 及菌种添加量 1.5% 条件下,设置黑枸杞粉添加量为 0.25%、0.5%、1.0%、1.5%、2.0% 进行发酵,对成品酸奶进行感官评定和黏附力的测定。

1.2.3.3 木糖醇添加量对酸奶品质的影响 在藜麦浆添加量 15%,黑枸杞粉添加量 1.0% 及菌种添加量 1.5% 的条件下,设置木糖醇添加量为 5%、6%、7%、8%、9% 进行发酵,对成品酸奶进行感官评定和黏附力的测定。

1.2.3.4 菌种添加量对酸奶品质的影响 在藜麦浆添加量 15%,黑枸杞粉添加量 1.0% 及木糖醇添加量

8%的条件下,设置菌种添加量为0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、2.5%进行发酵,对成品酸奶进行感官评定和黏附力的测定。

1.2.4 正交试验 根据单因素实验结果,选择藜麦浆添加量、黑枸杞粉添加量、木糖醇添加量及菌种添加量为考察指标,以感官评分为标准,进行 $L_9(3^4)$ 正交试验,考察各因素对藜麦黑枸杞酸奶品质的影响,正交试验因素水平设计见表1。

表1 正交试验设计因素与水平
Table 1 Factors and levels of orthogonal experiment

水平	因素			
	A藜麦浆添加量 (%)	B黑枸杞粉添加量 (%)	C木糖醇添加量 (%)	D菌种添加量 (%)
1	15	0.5	7	1.0
2	20	1.0	8	1.5
3	25	1.5	9	2.0

1.3 藜麦黑枸杞酸奶品质的评定

1.3.1 感官评分标准 感官评定小组由10名经过培训的人员组成,男女比例各占一半,要求对藜麦黑枸杞酸奶的组织状态、滋味、风味和色泽进行评价,取平均值作为最终感官评分,总评分为100分。藜麦黑枸杞酸奶感官评判标准见表2。

表2 藜麦黑枸杞酸奶感官评分标准
Table 2 Sensory evaluation standard of quinoa black medlar yogurt

项目	评分标准	分值(分)
组织状态	组织细腻、均匀、无乳清析出、无气泡	20.1~30
	组织细腻、均匀、有少量乳清析出	10.1~20
	组织粗糙、不均匀、有较多乳清析出	1~10
滋味	口感细腻、酸味柔和、酸甜比适中	20.1~30
	口感较细腻、微带涩味、偏酸或偏甜	10.1~20
	口感粗糙、苦涩味、酸味重	1~10
风味	有藜麦清香和黑枸杞特有香味、香味浓郁协调	14.1~20
	有藜麦和黑枸杞香味、香味淡、较协调	8.1~14
	无藜麦和黑枸杞香味、无发酵乳香味	1~8
色泽	紫色或浅紫色,色泽均匀一致	14.1~20
	颜色较重或较浅,色泽均匀一致	8.1~14
	色泽不均匀	1~8

1.3.2 质构测定方法 采用质构仪,选择直径为25.4 mm的球形挤压探头和2.5 kg力量感应元,试验测试速度为60 mm/min,起始力为0.050 N,穿刺距离为22.00 mm,对酸奶黏附力进行测定。

1.3.3 理化和微生物指标的测定 根据发酵乳食品安全国家标准中的指标要求,对酸奶的脂肪含量^[18]、蛋白质含量^[19]、酸度^[20]、乳酸菌数^[21]、大肠菌群^[22]、酵母菌和霉菌^[23]、金黄色葡萄球菌^[24]及沙门氏菌^[25]分别进行测定。

1.3.4 抗氧化性的测定 测定藜麦黑枸杞酸奶和对照酸奶(未添加藜麦和黑枸杞,其余配方同藜麦黑枸杞酸奶最佳配方)在0~4℃条件下贮藏0、1、5、9、

13、17、21 d的体外抗氧化能力。以 V_C 作为阳性对照,计算在517 nm处DPPH自由基清除能力^[26-27]及在510 nm处羟基自由基清除能力^[26],对贮藏期间的藜麦黑枸杞酸奶进行体外抗氧化性分析^[28]。

1.4 数据处理

试验数据采用SPSS 19.0和Excel 2013软件进行分析,用Origin 8.6进行制图。所有试验均平行测定3次。

2 结果与分析

2.1 单因素实验

2.1.1 藜麦浆添加量对酸奶品质的影响 由图1可以看出,藜麦黑枸杞酸奶的黏附力和感官评分随着藜麦浆添加量的增加呈现不同的变化。其中藜麦黑枸杞酸奶的黏附力随着藜麦浆添加量而持续增加,而感官评分随着藜麦浆添加量的增加表现出先升高后降低的趋势。藜麦浆添加量过少,藜麦气味淡,产品特色不突出;藜麦浆添加量过高时,藜麦气味浓郁,掩盖了酸奶的乳香味;当藜麦浆添加量达到20%时,酸奶既有发酵乳的香味,又有藜麦的谷物清香味,组织细腻、均匀,无乳清析出,感官评分达到最高。故选择藜麦浆添加量为15%~25%进一步优化。

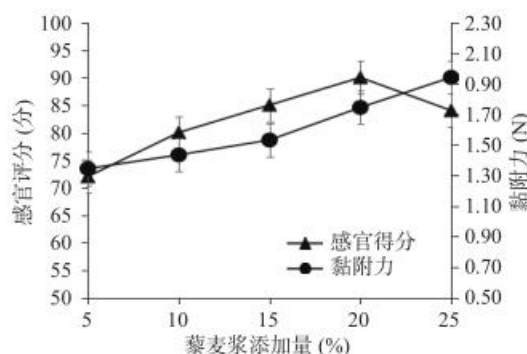


图1 藜麦浆添加量对酸奶品质的影响

Fig.1 Effect of quinoa slurry addition on the quality of yogurt

2.1.2 黑枸杞粉添加量对酸奶品质的影响 由图2可以看出,黑枸杞粉添加量为不超过0.5%时,酸奶黏附力较大,随着添加量的增加,酸奶黏附力逐渐下降,黑枸杞粉添加量对酸奶黏附性影响显著($P<0.05$)。

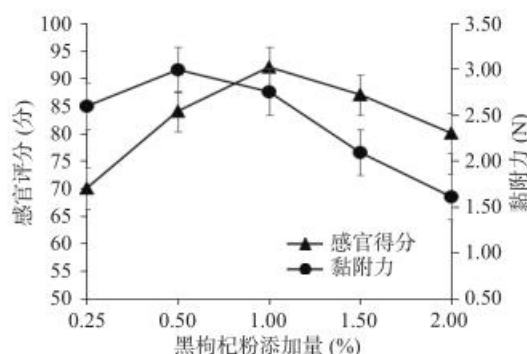


图2 黑枸杞粉添加量对酸奶品质的影响

Fig.2 Effect of black medlar powder addition on the quality of yogurt

当黑枸杞粉添加量为 1.0% 时, 酸奶感官得分最高; 过低时, 体现不出黑枸杞特有香味和色泽; 过高则枸杞味过重, 掩盖了酸奶特有的乳香味, 酸奶颜色也较深, 组织粗糙, 口感不细腻且较涩。综合各因素, 选择黑枸杞粉添加量为 0.5%~1.5% 进一步优化。

2.1.3 木糖醇添加量对酸奶品质的影响 由图 3 可知, 随着木糖醇添加量的增加, 酸奶的黏附力和感官评分均呈现先增高后降低的趋势。当木糖醇添加量为 8% 时, 酸奶酸甜适中, 感官评分最高。木糖醇添加量过少, 酸奶甜味太淡, 整体味道寡淡, 过多则甜腻; 酸奶黏附力在木糖醇添加量 7% 时达到最大。因此, 取木糖醇添加量 7%~9% 进一步优化。

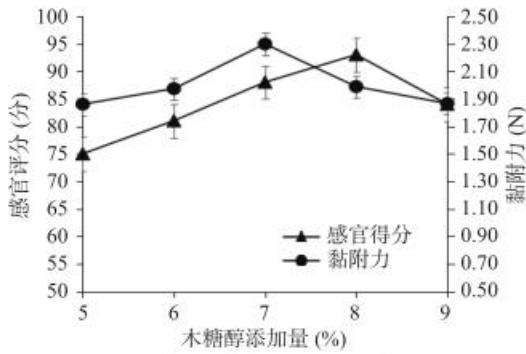


图 3 木糖醇添加量对酸奶品质的影响

Fig.3 Effect of xylitol addition on the quality of yogurt

2.1.4 乳酸菌添加量对酸奶品质的影响 由图 4 可知, 酸奶的黏附力和感官得分均随着酸奶发酵剂添加量的增加出现先增高后降低的趋势, 当接种量为 1.5% 时, 黏附力和感官得分最高; 菌种添加量过低时, 乳酸菌产酸能力弱, 酸奶发酵时间较长且组织不均匀, 酸味不够; 菌种添加量过大时, 乳酸菌对数生长期大大缩短, 乳酸菌产酸能力强, 发酵时间较短, 酸奶呈现较重的酸味, 风味失调。故选择 YO-MIX883 酸奶发酵剂接种量为 1.0%~2.0% 进一步优化。

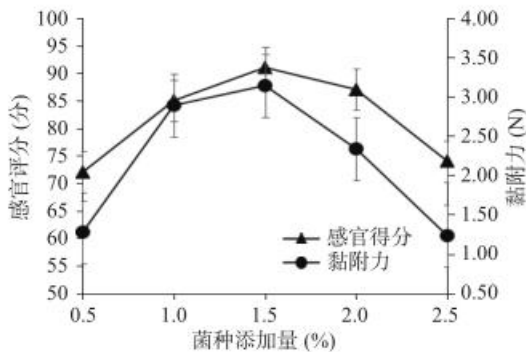


图 4 乳酸菌添加量对酸奶品质的影响

Fig.4 Effect of lactic acid bacteria addition on the quality of yogurt

2.2 正交试验

由表 3 可知, 用感官评分作为评价指标时, 4 个因素对藜麦黑枸杞酸奶品质的影响顺序为 B>A>D>C, 即黑枸杞粉添加量>藜麦浆添加量>菌种添加量>木

糖醇添加量, 最优组合为 A₃B₂C₂D₁, 最佳工艺条件为藜麦浆添加量 25%, 黑枸杞粉添加量 1.0%, 木糖醇添加量 8%, YO-MIX883 发酵剂添加量 1.0%。经验证实验得到的酸奶感官评分达到 93.2±0.14 分, 黏附力为-2.35±0.22 N。

表 3 藜麦黑枸杞酸奶正交试验结果
Table 3 Results of orthogonal test of quinoa black medlar yogurt

实验号	A	B	C	D	感官评分(分)
1	1	1	1	1	87.2
2	1	2	2	2	90.8
3	1	3	3	3	85.3
4	2	1	2	3	88.5
5	2	2	3	1	92.6
6	2	3	1	2	86.4
7	3	1	3	2	88.9
8	3	2	1	3	91.4
9	3	3	2	1	88.5
k ₁	87.767	88.200	88.333	89.433	
k ₂	89.167	91.600	89.267	88.700	
k ₃	89.600	86.733	88.933	88.400	
R	1.833	4.867	0.934	1.033	

2.3 藜麦黑枸杞酸奶成品检验结果

2.3.1 感官指标 藜麦黑枸杞酸奶组织均匀、无气泡、无乳清析出, 口感细腻、酸甜比适中, 有发酵乳香、藜麦清香及黑枸杞特有香味、香味协调, 呈现均匀一致的紫色。

2.3.2 理化和微生物指标 藜麦黑枸杞酸奶的大肠菌群、霉菌、酵母菌、金黄色葡萄球菌和沙门氏菌均未检出, 理化指标和乳酸菌数检验结果见表 4。按最佳工艺条件制作的藜麦黑枸杞酸奶的理化指标、微生物限量及乳酸菌数均符合 GB 19302-2010 发酵乳食品安全国家标准。

表 4 藜麦黑枸杞酸奶理化及微生物检测结果
Table 4 Results of physicochemical and microbiological indexes of quinoa black medlar yogurt

检验项目	脂肪(g/100 g)	蛋白质(g/100 g)	酸度(°T)	乳酸菌数(CFU/mL)
国家标准	≥2.5	≥2.3	≥70	≥1.0×10 ⁶
测定结果	3.87±0.08	3.47±0.11	71.8±0.11	(4.70±1.24)×10 ⁷

2.4 抗氧化性检测结果

由图 5 和图 6 可知, 藜麦黑枸杞酸奶对 DPPH 自由基清除率和羟基自由基清除率均高于对照酸奶。在贮藏 0~13 d, 藜麦黑枸杞酸奶对两种自由基的清除率均随贮藏时间的延长呈逐渐上升的趋势, 但在贮藏后期逐渐下降; 对照酸奶随着贮藏时间的延长呈现先上升后保持稳定的趋势。原因可能是原料乳经过乳酸菌发酵产生的小分子肽及氨基酸等活性物质具有一定的抗氧化能力, 而藜麦和黑枸杞中丰富的氨基酸类、黄酮类、花色苷类及酚酸类等抗氧化物质使藜麦黑枸杞酸奶具有较强的自由基清除能力。随

着贮藏时间的延长,酸奶中的蛋白质与多酚类物质相结合,降低了多酚类物质的抗氧化性,因此在贮藏后期,藜麦黑枸杞酸奶对两种自由基的清除能力均呈现下降的趋势^[29]。

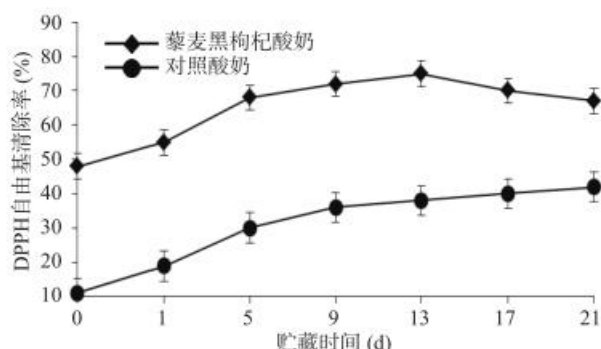


图5 酸奶样品储藏期间 DPPH 自由基清除率的变化
Fig.5 Changes of DPPH radical scavenging activity of yogurt samples during storage period

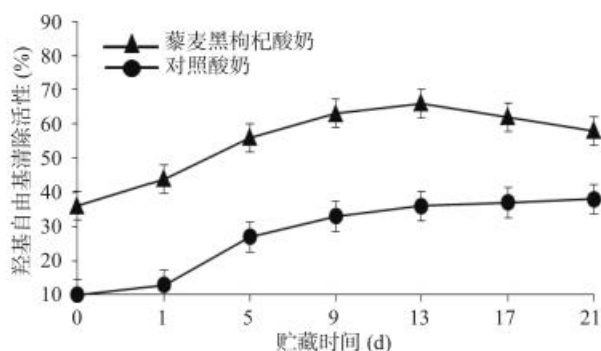


图6 酸奶样品储藏期间羟基自由基清除率的变化
Fig.6 Changes of hydroxyl radical scavenging activity of yogurt samples during storage period

3 结论

在单因素实验基础上,通过正交试验对藜麦黑枸杞酸奶进一步优化,最终确定了最佳工艺参数为:藜麦浆添加量 25%,黑枸杞粉添加量 1.0%,木糖醇添加量 8%,YO-MIX883 发酵剂添加量 1.0%,发酵温度 42℃,发酵时间 7 h,此时酸奶感官评分为 93.2±0.14 分。所得的藜麦黑枸杞酸奶呈现均匀一致的紫色,组织均匀、无乳清析出,口感细腻、酸甜比适中,有藜麦清香及黑枸杞特有香味,各项理化指标、微生物限量及乳酸菌数均符合食品安全国家标准,具有较强的 DPPH 自由基和羟基自由基清除能力。藜麦和黑枸杞的加入不仅赋予了酸奶新的风味,而且提高了酸奶的保健功能,具有良好的市场开发前景。

参考文献

- [1] SHARMA V, CHANDRA S, DWIVEDI P, et al. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): A nutritional healthy grain[J]. International Journal of Advanced Research, 2015, 3(9): 725-736.
- [2] VILCACUNDO R, HERNÁNDEZ-LEDESMA B. Nutritional and biological value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)[J]. Current Opinion in Food Science, 2017, 14: 1-6.
- [3] 陈志婧, 廖成松. 7 个不同品种藜麦营养成分比较分析[J].

- 食品工业科技, 2020, 41(23): 266-270. [CHEN Z J, LIAO C S. Comparative of 7 different varieties of *Chenopodium quinoa*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(23): 266-270.]
- [4] 吴立根, 屈凌波, 王岸娜, 等. 加工方式对藜麦营养及生物活性影响的研究进展[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(2): 10-13. [WU L G, QU L B, WANG A N, et al. Research progress on the effects of processing on nutritional and biological activity of quinoa[J]. Cereals & Oils, 2020, 33(2): 10-13.]
- [5] 于跃, 顾音佳. 藜麦的营养物质及生物活性成分研究进展[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(5): 4-6. [YU Y, GU Y J. Research progress on nutrients and bioactive components of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)[J]. Cereals & Oils, 2019, 32(5): 4-6.]
- [6] STIKIC R, GLAMOCLJIA D, DEMIN M, et al. Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) as an ingredient in bread formulations[J]. Journal of Cereal Science, 2012, 55(2): 132-138.
- [7] 陈怡雪. 黑枸杞成分分析及其提取物抗氧化和抑制 α -葡萄糖苷酶活性研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2020. [CHEN Y X. Study on the component analysis and antioxidant and α -glucosidase inhibitory activity of *lycium ruthenicum* murray extract[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2020.]
- [8] 周琪乐, 罗诗萌, 龚凌慧, 等. 黑果枸杞风味品质的分析研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(21): 8381-8389. [ZHOU Q L, LUO S M, GONG L H, et al. Study on flavor quality of *Lycium ruthenicum* Murr[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2021, 12(21): 8381-8389.]
- [9] LIU B, XU Q Q, SUN Y J. Black goji berry (*Lycium ruthenicum*) tea has higher phytochemical contents and *in vitro* antioxidant properties than red goji berry (*Lycium barbarum*) tea[J]. Food Quality and Safety, 2020, 4(4): 193-201.
- [10] LIU Z G, TANG X H, LIU C, et al. Ultrasonic extraction of anthocyanins from *Lycium ruthenicum* Murr. and its antioxidant activity[J]. Food Science & Nutrition, 2020, 8(6): 2642-2651.
- [11] 许英瑞, 朱妍丽, 薛元泰, 等. 黑枸杞多糖的提取及其对副干酪乳杆菌 L9、嗜热链球菌 G2 生长特性及抗氧化能力的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(17): 179-185. [XU Y R, ZHU Y L, XUE Y T, et al. Optimized ultrasonic extraction of *Lycium ruthenicum* polysaccharides and its effect on the growth and antioxidant capacity of *Lactobacillus paracasei* L9 and *Streptococcus thermophilus* G2[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(17): 179-185.]
- [12] 陈艾嘉. 木糖醇酸奶加工工艺研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2018. [CHEN A J. Study on processing of xylitol yogurt[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2018.]
- [13] 杨露西, 李强, 邓由飞, 等. 藜麦酸奶工艺及其品质研究[J]. 中国酿造, 2019, 38(9): 201-206. [YANG L X, LI Q, DENG Y F, et al. Processing technology and quality of quinoa yoghurt[J]. China Brewing, 2019, 38(9): 201-206.]
- [14] 王彦平, 申飞, 李俊华, 等. 参薯藜麦酥性饼干工艺优化及体外消化特性研究[J/OL]. 食品工业科技: 1-10[2022-04-02] doi:10.13386/j.issn1002-0306.2020090200. [WANG Y P, SHEN F, LI J H, et al. Study on the optimization of purple yam quinoa crisp biscuit and its *in vitro* digestion characteristics[J/OL]. Science

and Technology of Food Industry: 1-10[2022-04-02]. doi:10.13386/j.issn1002-0306.2020090200.]

[15] 秦丹丹,曹慧馨,白洋,等.黑木耳黑枸杞复合饮料研制及其体外抗氧化性[J].食品研究与开发,2020,41(3):108-116.

[QIN D D, CAO H X, BAI Y, et al. Study on preparation of *Auricularia auricular* and *Lycium ruthenicum* Murr. compound beverage and its antioxidant activity[J]. Food Research and Development, 2020, 41(3): 108-116.]

[16] 孙子羽,满都拉,陈佳,等.黑枸杞乳清酒发酵工艺优化及挥发性风味物质分析[J].中国酿造,2019,38(11):54-58. [SUN Z Y, MANDLLA, CHEN J, et al. Optimization of fermentation process of black medlar whey wine and analysis of its volatile flavor substances[J]. China Brewing, 2019, 38(11): 54-58.]

[17] 李子叶.不同酸奶发酵剂的发酵性能及其产品功能活性的研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2019. [LI Z Y. Study on fermentation performance of different starter culture and evaluation of its functional bioactivity in yogurt[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2019.]

[18] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB/T 5009.6-2016 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定[S].北京:中国标准出版社,2016. [National Health Commission of the People's Republic of China. GB/T 5009.6-2016 National Food Safety Standard. Determination of fat in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]

[19] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GB 5009.5-2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S].北京:中国标准出版社,2016. [National Health Commission of the People's Republic of China. GB 5009.5-2016 National Food Safety Standard. Determination of protein in food[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]

[20] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GB 5009.239-2016 食品安全国家标准 食品酸度的测定[S].北京:中国标准出版社,2016. [National Health Commission of the People's Republic of China. GB 5009.239-2016 National Food Safety Standard. Determination of acidity of food[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]

[21] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GB 4789.35-2016 食品安全国家标准 食品微生物学检验 乳酸菌检验[S].北京:中国标准出版社,2016. [National Health Commission of the People's Republic of China. GB 4789.35-2016 National Food Safety Standard. Microbiological examination. Determination of lactic acid bacteria[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]

[22] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GB 4789.3-2016 食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群测定[S].北京:中国标准出版社,2016. [National Health Commission of the People's Republic of China. GB 4789.3-2016 National Food Safety Standard. Microbiological examination. Determination of *Bacterium coli*[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]

[23] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GB 4789.15-2016 食品安全国家标准 食品微生物学检验 霉菌和酵母计数[S].北京:中国标准出版社,2016. [National Health Commission of the People's Republic of China. GB 4789.15-2016 National Food Safety Standard. Microbiological examination. Mold and yeast count [S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]

[24] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GB 4789.10-2016 食品安全国家标准 食品微生物学检验 金黄色葡萄球菌检验[S].北京:中国标准出版社,2016. [National Health Commission of the People's Republic of China. GB 4789.10-2016 National Food Safety Standard. Microbiological examination. Examination of *Staphylococcus aureus*[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]

[25] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. GB 4789.4-2016 食品安全国家标准 食品微生物学检验 沙门氏菌检验[S].北京:中国标准出版社,2016. [National Health Commission of the People's Republic of China. GB 4789.4-2016 National Food Safety Standard. Microbiological analysis. Examination of food *Salmonella*[S]. Beijing: China Standards Press, 2016.]

[26] WU X Y, LIANG L H, ZOU Y, et al. Aqueous two-phase extraction, identification and antioxidant activity of anthocyanins from mulberry (*Morus atropurpurea* Roxb.)[J]. Food Chemistry, 2011, 129(2): 443-453.

[27] 李郭浪,刘静,李霞,等.山药山楂酸奶的贮藏品质及胃肠液环境下的抗氧化性[J].中国酿造,2021,40(5):124-128. [LI G L, LIU J, LI X, et al. Storage quality of yam and hawthorn yogurt and its antioxidation in simulated gastrointestinal fluid[J]. China Brewing, 2021, 40(5): 124-128.]

[28] DAOU C, ZHANG H, LAGNIKA C, et al. *In-vitro* fermentation by human fecal bacteria and bile salts binding capacity of physical modified defatted rice bran dietary fiber[J]. Food and Nutrition Sciences, 2014, 5(12): 1114-1120.

[29] 王然,张春玉,贾燕妮.酸浆果蜂蜜酸奶发酵及贮藏过程中抗氧化活性的变化研究[J].中国酿造,2019,38(1):158-163. [WANG R, ZHANG C Y, JIA Y N. Changes of antioxidant activity of *Fructus physalis* honey yoghurt during fermentation and storage period[J]. China Brewing, 2019, 38(1): 158-163.]